

⑮ 日本国特許庁 (JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報 (A)

昭59—65828

⑪ Int. Cl.³
G 02 F 1/35
G 02 B 5/14

識別記号 庁内整理番号
7348—2H
A 7370—2H

⑬ 公開 昭和59年(1984)4月14日

発明の数 1
審査請求 有

(全 7 頁)

⑭ 光信号増幅方式

① 特 願 昭57—176312

② 出 願 昭57(1982)10月8日

⑦ 発 明 者 村上泰司

茨城県那珂郡東海村大字白方字
白根162番地日本電信電話公社
茨城電気通信研究所内

⑧ 発 明 者 野口一博

⑦ 発 明 者 本村康郎

茨城県那珂郡東海村大字白方字
白根162番地日本電信電話公社
茨城電気通信研究所内

⑩ 出 願 人 日本電信電話公社

⑪ 代 理 人 弁理士 井出直孝

明 細 書

1. 発明の名称

光信号増幅方式

2. 特許請求の範囲

(1) 連続光を発生する高出力光源と、

1本以上の単一モード光ファイバと、

この単一モード光ファイバ内で上記高出力光源
の第1次ないし第n次 (nは2以上の正の整数)
のストークス光を誘発することができるn個の異
なる波長の出力光を発生するn個の副光源と、

このn個の副光源のうちの少なくとも1個の出
力光を入力信号により変調する変調手段と、

上記高出力光源の出力光および上記n個の副光
源の各出力光を結合させ上記単一モード光ファイ
バの一端に入射させる結合手段と、

を備え、

上記単一モード光ファイバ内で誘導ラマン散乱
効果により第1次ないし第n次のストークス光を
順次誘発させ、

この第n次のストークス光を出力光として利用
することを特徴とする光信号増幅方式。

(2) 高出力光源が波長1.06 μ mの出力光を発生
するNd:YAGレーザ光源であり、

単一モード光ファイバは1本であり、

n=4であり、

第1次のストークス光を誘発する第一の副光源
が波長1.12 μ mの光を発生する半導体レーザ光源
であり、

第2次のストークス光を誘発する第二の副光源
が波長1.18 μ mの光を発生する半導体レーザ光源
であり、

第3次のストークス光を誘発する第三の副光源
が波長1.24 μ mの光を発生する半導体レーザ光源
であり、

第4次のストークス光を誘発する第四の副光源
が波長1.31 μ mの光を発生する半導体レーザ光源
であって、

変調手段は上記第四の副光源の出力光を変調す
るよう構成された特許請求の範囲第(1)項に記載

の光信号増幅方式。

(3) 高出力光源が波長 $1.32\mu\text{m}$ の出力光を発生するNd:YAGレーザ光源であり、

単一モード光ファイバは1本であり、

$n = 3$ であり、

第1次のストークス光を誘発する第一の副光源が波長 $1.40\mu\text{m}$ の光を発生する半導体レーザ光源であり、

第2次のストークス光を誘発する第二の副光源が波長 $1.49\mu\text{m}$ の光を発生する半導体レーザ光源であり、

第3次のストークス光を誘発する第三の副光源が波長 $1.60\mu\text{m}$ の光を発生する半導体レーザ光源であり、

変調手段は上記第一の副光源の出力光を変調するように構成された特許請求の範囲第(1)項に記載の光信号増幅方式。

(4) 高出力光源が波長 $1.32\mu\text{m}$ の出力光を発生するNd:YAGレーザであり、

単一モード光ファイバは2本であり、

$n = 2$ であり、

第1次のストークス光を誘発する第一の副光源が波長 $1.40\mu\text{m}$ の光を発生する半導体レーザ光源であり、

第2次のストークス光を誘発する第二の副光源が波長 $1.49\mu\text{m}$ の光を発生する半導体レーザ光源であり、

第1次のストークス光は第一の単一モード光ファイバ内で発生され、

第2次のストークス光は上記第一の単一モード光ファイバ内で発生された第1次のストークス光を光源として第二の単一モード光ファイバ内で発生されるように構成された特許請求の範囲第(1)項に記載の光信号増幅方式。

3. 発明の詳細な説明

(発明の属する技術分野)

本発明は、通信用光信号を増幅する光信号増幅方式に関する。特に、光ファイバの内部で生じる誘導ラマン散乱効果を利用して、光信号を増幅す

る光信号増幅方式に関する。

(従来技術の説明)

一本の単一モード光ファイバに周波数 F_s の信号光と、この信号光の周波数とは異なる周波数 F_p の振幅の大きい励起光を同時に注入すると、

$$F_i = 2F_p - F_s$$

なる周波数のアイドラ光が発生し、励起光、信号光およびアイドラ光の間に位相整合条件が満たされると、励起光のエネルギーが信号光およびアイドラ光へ移行する現象が知られている。これを四光子混合増幅現象といい、この現象を利用した光信号増幅器が次の文献に報告されている。

(文献) K.Washio et al. "Amplification and Frequency Conversion of InGaAsP Laser Light in Optical Fiber Pumped in the Low Dispersion Region at $1.3\mu\text{m}$ " Topical Meeting on Optical Fiber Communication, Arizona, April 13-15, 1982. pp60

第1図はこの従来例増幅器の構成図である。半導体レーザ1は波長 $1.38\mu\text{m}$ の光信号を発生し、Nd:YAGレーザ2は波長 $1.32\mu\text{m}$ の光信号を発生する。この2つのレーザの出力光は、ハーフミラー3を用いて単一モード光ファイバ4に入射される。この光ファイバ4の内部で上記式の周波数のアイドラ光が発生し、このアイドラ光の振幅が半導体レーザ1の出力光より大きくなって、構成減波器5を介して取り出される。この従来例装置では、光ファイバ4にコア直径 $11\mu\text{m}$ 、高次モードカットオフ波長 $1.2\mu\text{m}$ 、長さ約 30m の単一モード光ファイバを使用して、ピーク出力 15W 、パルス幅 $0.4\mu\text{s}$ の光パルスで励起したとき、この光ファイバ4の中で約 47dB 増幅され、励起光パルスのピーク出力を 30W にしたときには、約 60dB の増幅が行われることが報告されている。

しかし、この従来例装置では、光ファイバ4として、信号光と励起光との間で位相整合条件を満足させるような特殊な単一モード光ファイバを用

いることが必要であり、このような光ファイバは一般の通信用に使用するには適当ではなく、また出力信号光の波長は上記のようにアイドラ光であり、これは一般の通信用光ファイバのOH基吸収損失の大きい領域にあるので、この波長では長距離伝送が困難である。

(発明の目的)

本発明は、特殊な光ファイバを使用する必要がなく、出力光が通常の光ファイバの低損失波長領域にある光信号増幅方式を提供することを目的とする。

(発明の特徴)

本発明は、

連続光を発生する高出力光源と、

1本以上の単一モード光ファイバと、

この単一モード光ファイバ内で上記高出力光源の第1次ないし第n次(nは2以上の正の整数)のストークス光を誘発することができるr個の異なる波長の出力光を発生するn個の副光源と、
このn個の副光源のうちの少なくとも1個の出

力光を入力信号により変調する変調手段と、

上記高出力光源の出力光および上記n個の副光源の各出力光を結合させ上記単一モード光ファイバの一端に入射させる結合手段と

を備え、

上記単一モード光ファイバ内で誘導ラマン散乱効果により第1次ないし第n次のストークス光を順次誘発させ、

この第n次のストークス光を出力光として利用することを特徴とする。

(実施例による説明)

第2図は本発明第一実施例装置の構成図である。高出力光源11はNd:YAGレーザにより構成され、波長 $1.06\mu\text{m}$ のレベルの高い連続的な出力光を送出する。この出力光の光路には光方向性結合器12が配置され、第一の副光源13の出力光が結合される。第一の副光源13は半導体レーザを用いて、中心波長 $1.12\mu\text{m}$ の連続光を送出する。

光方向性結合器12の出力光の光路には、光方向性結合器14が配置され、これに第二の副光源15の

出力光が結合される。第二の副光源15は半導体レーザを用いて、中心波長 $1.18\mu\text{m}$ の連続光を送出する。さらに、光方向性結合器14の出力光の光路には光方向性結合器16が配置され、これに第三の副光源17の出力光が結合される。この第三の副光源17は半導体レーザにより構成され、中心波長 $1.24\mu\text{m}$ の連続光を送出する。光方向性結合器16の出力光の光路には、さらに光方向性結合器18が配置され、第四の副光源20の出力光を結合する。

この第四の副光源20は中心波長 $1.31\mu\text{m}$ の出力光を送出する半導体レーザにより構成される。この第四の副光源20には、電気信号入力端子21に入力する入力信号が導かれ、その出力光がこの入力信号によりパルス振幅変調されるように構成される。この光方向性結合器18の出力光は、単一モード光ファイバ22の一端に入射される。

このように構成された装置では、高出力光源11の出力光と、各副光源13、15、17および20の出力光が総て単一モード光ファイバ22に入射し、この単一モード光ファイバ22の中を伝播中に、次のよ

うな作用が起こる。すなわち、高出力光源11の波長 $1.06\mu\text{m}$ の出力光は、単一モード光ファイバ22を伝播中に副光源13の波長 $1.12\mu\text{m}$ の出力光に誘発されて、誘導ラマン散乱効果により、波長 $1.12\mu\text{m}$ の第1次ストークス光を発生させ、波長 $1.06\mu\text{m}$ の光エネルギーは、波長 $1.12\mu\text{m}$ の光エネルギーに変換される。

この第1次ストークス光はさらに副光源15の波長 $1.18\mu\text{m}$ の出力光に誘発されて、誘導ラマン散乱効果により、波長 $1.18\mu\text{m}$ の第2次ストークス光を発生させ、波長 $1.12\mu\text{m}$ の1次ストークス光の光エネルギーは、波長 $1.18\mu\text{m}$ の第2次ストークス光の光エネルギーに変換される。

この第2次ストークス光は、さらに副光源17の波長 $1.24\mu\text{m}$ の出力光に誘発されて、誘導ラマン散乱効果により、波長 $1.24\mu\text{m}$ の第3次ストークス光を発生させ、第2次ストークス光の光エネルギーはこの第3次ストークス光の光エネルギーに変換される。この第3次ストークス光は、副光源20から送出される波長 $1.31\mu\text{m}$ の変調された出力

光が存在する時間だけ誘導ラマン散乱効果を起こし、この変調された出力光のポンピング光になる。この結果第3次ストークス光の光エネルギーは第4次ストークス光である波長 $1.31\mu\text{m}$ の信号光エネルギーに変換され、この信号光は増幅されたことになる。

第3図は上記第一実施例装置における増幅された第4次ストークス光による信号光パワーの理論計算値を示す。高出力光源11の出力光パワー P_0 をパラメタにとり、横軸に光ファイバ22の全長を示し、縦軸にこの光ファイバ22の出力端に得られる波長 $1.31\mu\text{m}$ の第4次ストークス光の信号光パワーを示す。それぞれ横軸はリニア尺、縦軸は対数尺で表す。

誘導ラマン散乱効果によるストークス光の光パワーについては、次の文献に詳しい記述がある。

〔文献〕野口、村上、芦谷、「長尺光ファイバケーブルの新しい破断点検出法」電子通信学会通信方式研究会資料CS81-156、1982年1月19日、特にその62～63頁の記載

この理論値を求めるために用いた各パラメタの条件は、光ファイバ22は単一モード光ファイバであって、コア直径 $9\mu\text{m}$ 、比屈折率0.28%、構造不完全性損失 0.15dB/km 、副光源13、15、17および20の出力光パワーはそれぞれ1mWである。

この理論計算によると、高出力光源11の出力光パワーが約8wのところに増幅作用の臨界点があり、高出力光源11でこれより大きい出力光パワーを発生させると、第3図に示すように信号光が増幅される。しかし、高出力光源11の出力光パワーが18w以上になると、単一モード光ファイバ22の内部でさらに高次のストークス光が発生して、本発明の原理による信号光の増幅作用は急速に減衰する。したがって、第2図に示す第一実施例では、高出力光源11の出力光パワーを9～16w程度に設定することが実用上最適である。高出力光源11の出力光パワーを16wとすると、信号光の増幅率は約41dBになる。

第4図は同じく上記第一実施例装置における増幅された信号光パワーの理論計算値である。この

例は光ファイバ22として、コア直径 $5\mu\text{m}$ 、比屈折率0.28%、構造不完全性損失 0.15dB/km の単一モード光ファイバを用いたものである。副光源13、15、17および20の出力光パワーは同じく1mWである。

この場合には、単一モード光ファイバ22の断面積が小さいので、光パワーがコア中心部に集中して、誘導ラマン散乱効果が生じる高出力光源11の出力光パワーの範囲が狭くなる。高出力光源11の出力光パワーの値が5wのときに、信号光の増幅率は約37dBであり、高出力光源11の出力光パワーが8wになると、高次のストークス光が発生して増幅出力光パワーは急速に減衰する。したがってこの場合には、実用的な高出力光源11の出力光パワーは5w～7wとなる。

第5図は本発明第二実施例装置の構成図である。この例は、高出力光源11に波長 $1.32\mu\text{m}$ のNd:YAGレーザを用い、第一の副光源13は出力光波長 $1.40\mu\text{m}$ の半導体レーザ、第二の副光源15を波長 $1.49\mu\text{m}$ の半導体レーザとするものである。さ

らに第一の副光源13に変調信号入力端子21の信号を与え、第一の副光源13の出力光を変調するように構成される。高出力光源11の出力光および副光源13、15の出力光は光方向性結合器12および14で結合されて、単一モード光ファイバ22に入力される。

このように構成された装置では、単一モード光ファイバ22で発生する第1次ストークス光の波長は $1.40\mu\text{m}$ であり、この第1次ストークス光はすでに変調された信号光である。さらに副光源15により誘発される第2次ストークス光の波長は $1.49\mu\text{m}$ である。この第2次ストークス光を増幅出力とすれば、この出力光波長 $1.49\mu\text{m}$ は広く使用されている通信用光ファイバの伝送損失の極小点に近い波長であり、長距離伝送に適する。

この第5図の第二実施例装置の構成に、さらに波長 $1.60\mu\text{m}$ の第三の副光源を設け、この出力光を同時の結合することにより、波長 $1.60\mu\text{m}$ の増幅された第3次のストークス光を得ることができ、波長 $1.60\mu\text{m}$ も広く使用されている通信用光

ファイバの低い伝送損失領域の波長である。

第6図は本発明の第三実施例装置の構成図である。この例は第1次ストークス光を発生させる単一モード光ファイバと、第2次ストークス光を発生させる単一モード光ファイバとを別にしたところに特徴がある。すなわちこの第三実施例では、高出力光源11は波長 $1.32\mu\text{m}$ の出力光を送出するNd:YAGレーザであり、第一の副光源13は波長 $1.40\mu\text{m}$ の出力光を送出する半導体レーザである。この高出力光源11の出力光と、副光源13の出力光とは光方向性結合器12で結合して第一の単一モード光ファイバ22に入射する。この単一モード光ファイバ22の内部で、誘導ラマン散乱効果により波長 $1.40\mu\text{m}$ の第1次ストークス光を発生させ、この単一モード光ファイバ22の他端から送出されるこの第1次ストークス光を次段の光源として利用する。

第二の副光源15は波長 $1.49\mu\text{m}$ の変調された出力光を送出する半導体レーザである。この出力光は、光方向性結合器14で上記単一モード光ファイ

バ22から送出される第1次ストークス光と結合され、第二の単一モード光ファイバ23の一端に入力される。この第二の単一モード光ファイバ23の内部では、誘導ラマン散乱効果により、波長 $1.49\mu\text{m}$ の第2次ストークス光が誘発され、これは単一モード光ファイバ23の中を伝送してその他端に現れる。副光源15の出力光は入力端子21の入力信号により変調されているので、この第2次ストークス光は同じくこの入力信号により変調されたレベルの高い信号光であり、フィルタ24を介して通信光ファイバ25の一端から送信される。

このように、第1次ストークス光と第2次ストークス光とは、別の単一モード光ファイバで発生させることができる。

さらに一般に、第1次～第n次のストークス光を総て1本の単一モード光ファイバ内で発生させる必要はなく、単一モード光ファイバを複数個用意して、各次のストークス光を順次段階的に別の単一モード光ファイバ内で発生させてもよい。

このように複数の単一モード光ファイバを用い

ることにより、不要な光の相互干渉を避けることができる。

上記例では、第一番目の副光源あるいは最終番目の副光源を入力信号により変調するように説明したが、これは何番目の副光源を変調するように構成してもよい。また、変調する副光源の数は1個に限らず複数個でもよい。

上記各例では、各光源の出力光を結合するために光方向性結合器を使用する例を示したが、これ以外のどのような光結合手段を用いてもよい。

光源については、高出力光源をNd:YAGレーザとし、その他の光源を半導体レーザとしたが、光源の種類は本発明の本質に直接関係なく、適当な波長と出力レベルが得られるならば、どのような光源を用いてもよい。

(効果の説明)

以上説明したように、本発明によれば、光通信に有利な波長であって、入力信号により変調された大振幅の光信号が送出される光信号増幅方式が得られる。この方式を利用することにより、光フ

ァイバ通信の伝送距離を飛躍的に増大させることができる。本発明の方式では、入力光信号の位相を整合させるなどの複雑かつ精密な操作を一切必要としないので装置は安定である。また光ファイバとして特殊なものを使用する必要がない優れた特徴がある。

4. 図面の簡単な説明

第1図は従来例装置の構成図。

第2図は本発明第一実施例装置の構成図。

第3図はその出力信号光パワーの理論計算値を示す図。

第4図はその出力信号光パワーの理論計算値を示す図(第3図と第4図では、使用する単一モード光ファイバが異なる。)。

第5図は本発明第二実施例装置の構成図。

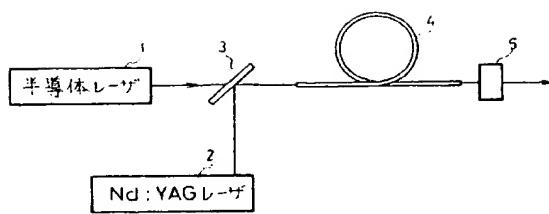
第6図は本発明第三実施例装置の構成図。

11…高出力光源(Nd:YAGレーザ)、12、14、16、18…光方向性結合器、13、15、17、20…副光源(半導体レーザ)、21…変調用電気信号入

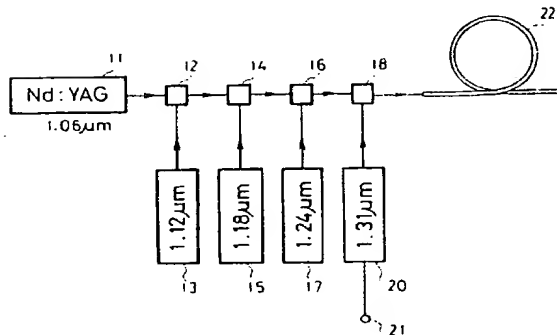
特開昭59- 65828(6)

力端子、22…単一モード光ファイバ、24…フ
ィルタ、25…光ファイバ

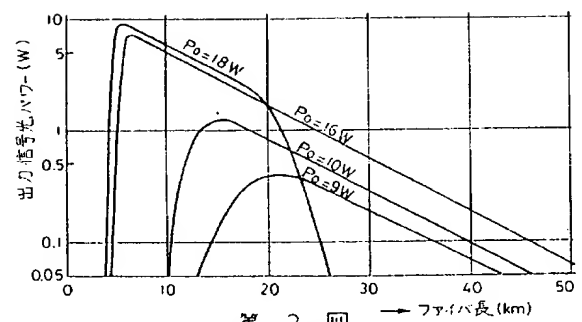
特許出願人 日本電信電話公社
代理人弁理士 井 出 直 孝



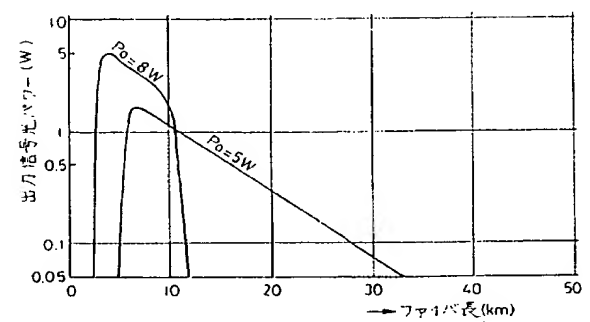
第 1 図



第 2 図

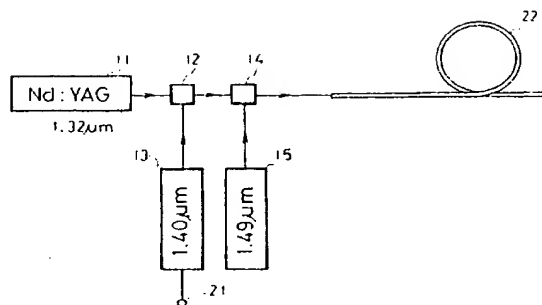


第 3 図

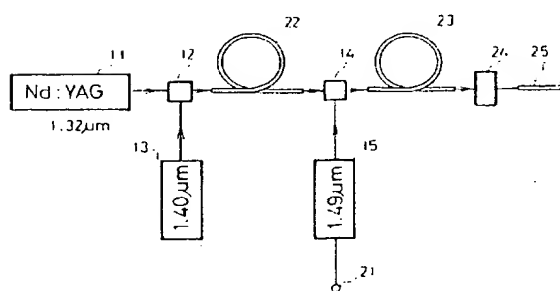


第 4 図

特開昭59- 65828 (7)



第 5 図



第 6 図

This Page Blank (uspto)